
Научная статья

УДК 678.8

DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-6-25-37

ЭЛАСТОМЕРНО-ТКАНЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ИЗДЕЛИЙ СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ (обзор)

А.М. Чайкун¹, А.В. Сергеев¹, Е.С. Правада¹

¹Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», Москва, Россия; admin@viam.ru

Аннотация. Статья посвящена анализу эластомерно-тканевых материалов, широко применяемых при разработке и эксплуатации изделий специальной техники, в том числе в авиационной и космической отрасли. Даны основные характеристики эластомерно-тканевых материалов, описаны применяемые конструкции резинотканевых материалов. Представлены основные технологические процессы производства эластомерно-тканевых материалов и подходы, применяемые при прогнозировании их работоспособности.

Ключевые слова: каучуки, резины, эластомерно-тканевый материал

Для цитирования: Чайкун А.М., Сергеев А.В., Правада Е.С. Эластомерно-тканевые материалы для изделий специальной техники (обзор) // Труды ВИАМ. 2023. № 6 (124). Ст. 03. URL: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-6-25-37.

Scientific article

ELASTOMERIC-FABRIC MATERIALS FOR PRODUCTS OF SPECIAL EQUIPMENT (review)

А.М. Chaykun¹, А.В. Sergeyev¹, Е.С. Pravada¹

¹Federal State Unitary Enterprise «All-Russian Scientific-Research Institute of Aviation Materials» of National Research Center «Kurchatov Institute», Moscow, Russia; admin@viam.ru

Abstract. Article is devoted to the analysis of the elastomeric and fabric materials which are widely applied at development and operation of products of special equipment, including in the aviation and space industry. The main technical properties of elastomeric and textile materials are given, applied designs of rubber-and-canvas materials are described. The main technological processes of production of elastomeric and fabric materials are described. The approaches applied at forecasting of their operability.

Keywords: rubbers, elastomere, elastomeric-fabric material

For citation: Chaykun A.M., Sergeyev A.V., Pravada E.S. Elastomeric-fabric materials for products of special equipment (review). *Trudy VIAM*, 2023, no. 6 (124), paper no. 03. Available at: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-6-25-37.

Введение

Интенсификация эксплуатации изделий, произведенных в авиационной промышленности, диктует необходимость применения материалов с повышенными техническими характеристиками. В связи со сложными условиями работы всех деталей и узлов современного авиационного оборудования необходимо определить дополнительные требования к комплектующим материалам. Указанные соображения в полной мере

относятся к эластомерно-тканевым материалам (ЭТМ), которые эксплуатируются в постоянном контакте с жидкими агрессивными рабочими средами, такими как топлива и масла, в условиях постоянного перепада давлений и длительно работают при воздействии воздушной среды с повышенным содержанием озона [1–5].

Эластомерно-тканевые материалы представляют собой композиционные материалы, в которых матрица изготавливается из эластомера, а армирующим материалом являются волокна или ткани различной структуры и химического строения. Армирующий материал применяется в виде корда, ткани, нетканого полотна, рубленых нитей, отдельных волокон различной длины, ориентированных вдоль или поперек направления каландрования и равномерно распределенных в эластомерной матрице. Поэтому полимерные композиционные материалы (ПКМ) данного типа обладают комплексными свойствами эластичного материала покрытия (связующего) и силовой армирующей основы (наполнителя). Особенность ЭТМ – малая толщина, которая на несколько порядков меньше остальных линейных размеров, что обеспечивает высокую гибкость ПКМ. Такие материалы обычно анизотропные. В реальных конструкциях модуль упругости при растяжении значительно больше модуля сдвига эластомера, поэтому экстремальные значения податливости материала отличаются в десятки раз [6–16].

Типичным представителем ЭТМ является равнопрочная по основе и утку ткань с двухсторонним резиновым покрытием – так называемая прорезиненная ткань. Впервые прорезиненную ткань получил Чарльз Макинтош в XIX в. в Англии. Он разработал технологический процесс нанесения раствора натурального каучука на текстильную ткань. В результате был получен водонепроницаемый прочный материал, из которого изготавливали плащи, получившие название плащи Макинтоша. Ввиду применения раствора каучука в невулканизированном виде плащи Макинтоша имели ряд существенных недостатков: в жаркую погоду материал растекался, а в холодное время имело место хрупкое растрескивание материала. После открытия Гудьиром и Гэнкоком процесса вулканизации и разработки его технических основ, вулканизированные технические ткани стали применять для изготовления надувных конструкций – лодок, понтонов, мягких емкостей, аэростатов и т. д. Со временем натуральный каучук вытеснили синтетические эластомерные композиции и ткани с термопластичным покрытием. Основная часть производимых в настоящее время ЭТМ имеют покрытие на основе пластифицированного поливинилхлорида (ПВХ) и других видов термопластичных эластомеров. Ряд ЭТМ имеет эластомерное покрытие на основе натурального или синтетических каучуков, а также латексно-смоляную пропитку.

Работа выполнена при поддержке ЦКП «Климатические испытания» НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ в рамках реализации комплексной научной проблемы 15.2. «Эластомерные и уплотнительные материалы» («Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года») [1].

Особенности конструкции эластомерно-тканевых материалов

По числу слоев текстильного материала ЭТМ разделяют на одно-, двух- и многослойные (обычно до шести слоев). Подавляющее большинство выпускаемых в настоящее время ЭТМ являются однослойными. Вместе с тем значительная часть производимых предприятиями прорезиненных тканей на основе натуральных, полиамидных и комбинированных нитей изготавливается в виде двух- и многослойных конструкций. Для расширения функциональных свойств армирующего материала в зависимости от назначения применяют ткани сложных переплетений (многослойные, многоосновные) с двумя или тремя типами волокон, что дает возможность использовать преимущество каждого типа. Применяют также комбинированные нити, армированные наполнители,

изготовленные из смесовой ткани. В ряде случаев для достижения технического результата используют нити разных типов по утку и основе.

Двух- и многослойные прорезиненные ткани по направлению нитей основы и дополнительных слоев разделяют на параллельно и диагонально дублированные нити. В трехслойных диагональных дублированных прорезиненных тканях, предназначенных для изготовления аэростатов, плотов и лодок, средний слой текстильной ткани имеет ориентацию нитей основы под углом 45 градусов к нитям основных слоев. Дублирование материалов из двух и более слоев применяется для защиты внутренних газонепроницаемых слоев резины от внешних воздействий среды и механических повреждений. Диагональное дублирование увеличивает прочность материала на раздир и выравнивает деформационные характеристики эластомерного и тканевого слоев, что обеспечивает сохранение формы наполненных воздухом конструкций. Параллельное дублирование, помимо защиты газонепроницаемого слоя, увеличивает сопротивление материала разрыву.

По расположению эластомерного покрытия в конструкции различают ЭТМ с односторонним и двухсторонним покрытием и материалы без наружного эластомерного слоя. Так, материалы, используемые в производстве надувных лодок, имеют один слой высокопрочного полиэфирного текстильного материала, покрытый с двух сторон несколькими эластомерными слоями: адгезионным подслоем, поверх которого располагаются газонепроницаемые слои, а сверху – стойкие к внешним воздействиям цветные слои из хлорсульфированного полиэтилена. Многослойные материалы для изготовления оболочек аэростатов и дирижаблей имеют дополнительные слои из полимерных барьерных пленок, обеспечивающих высокую газонепроницаемость ЭТМ при минимально возможной поверхностной плотности (массе 1 м^2).

Ткани с термопластичным покрытием в подавляющем большинстве случаев имеют один слой текстильного материала из полиэфирных или полиамидных волокон с двухсторонним или односторонним покрытием. Часто поверх слоя ПВХ наносится слой лака на основе акриловых полимеров.

Основные принципы конструирования эластомерно-тканевых материалов

Для каждой группы и подгруппы мягких оболочечных конструкций (МОК) создают ЭТМ с заданным комплексом свойств, который зависит от назначения и условий эксплуатации изделий. Наиболее характерными показателями ЭТМ являются конструкция, прочность при растяжении и сопротивление раздиру по основе и утку, поверхностная плотность, прочность связи между слоями, толщина и проницаемость по отношению к рабочей среде.

При расчете и конструировании ЭТМ следует учитывать недостатки современных материалов, такие как малая стойкость к воздействию климатических факторов; ползучесть и усталость вследствие внешних воздействий, связанных с условиями и особенностями эксплуатации МОК. Следует также учитывать нелинейность деформационных характеристик в двухосном напряженном состоянии [17–20].

Ассортимент используемых материалов по своим техническим характеристикам, массе и толщине весьма широк. Прочность материалов на разрыв колеблется от 8 до 3000 даН (деканьютон)/5 см, распределенная масса по поверхности – от 50 до 5000 г/м², номера используемых нитей от 50 до 2200 дтекс (масса нити в граммах на 10000 м, 1 дтекс = 0,0001 г/м).

Общие требования к ЭТМ: прочность на разрыв и раздир в заданных пределах в зависимости от условий эксплуатации; ограниченное удлинение, равномерное по ширине полотна при рабочих нагрузках; минимальные толщина и металлоемкость; технологичность для соединения в швах и стыках; качество и товарный вид.

Кроме того, в зависимости от назначения материалов к ним предъявляют дополнительные требования:

- непроницаемость в рабочей среде и звукоизоляционные свойства [21];
- стойкость к действию агрессивных рабочих сред – газов (диоксид углерода, водород, гелий, пороховые газы), жидкостей и их смесей;
- сопротивление локальным нагрузкам (проколы) и истиранию;
- максимальная устойчивость к многократному изгибу;
- работоспособность в заданном интервале температур;
- способность к соединению с другими материалами без снижения прочности основного материала;
- биологическая инертность и огнестойкость [22–27].

Например, для *пневматических строительных конструкций* в качестве силовой основы рекомендуют однослойную ткань из волокна полотняного переплетения («рогожку») из нитей низких номеров и малой крутки. Следует применять двухстороннее эластомерное покрытие с распределением 60–65 % полимера на лицевой стороне и 35–40 % – на внутренней. Адгезия эластомера к ткани – не менее 2 даН/см.

Для *надувных лодок* в зависимости от вместимости рекомендуют материалы из одного слоя синтетической (полиэфирной или полиамидной) текстильной ткани полотняного переплетения из нитей 940–1100 дтекс с числом нитей 120 на 100 мм в каждом направлении. Снаружи и внутри на ткань наносят слои газонепроницаемого покрытия на основе пластифицированного ПВХ с пластификатором, имеющим пониженную летучесть или по два слоя резины на основе хлоропренового каучука и хлорсульфированного полиэтилена.

Для *шлюпок, спортивных и морских лодок* рекомендуется использовать более тяжелые ткани из волокна 1940 дтекс с 90–100 нитями на 100 мм в каждом направлении. Они должны обладать более высоким сопротивлением раздиру, поэтому целесообразно использовать ткани с переплетением «рогожка 2×2».

Требования к материалам *надувных спасательных средств*, используемых на море, определяются Международными нормами и правилами. Для *тентовых тканей* плотов и индивидуальных спасательных средств рекомендуется использовать однослойный текстильный материал из полиамидного или полиэфирного волокна с поверхностной плотностью не более 40–70 г/м² и прочностью на разрыв по основе и утку не менее 50–90 даН/5 см, прочностью при растяжении не менее 5 даН, с двухсторонним полиуретановым покрытием с раскладкой по сторонам в соотношении 70:30 %.

Применение эластомерно-тканевых материалов в авиации и при производстве резинотехнических изделий

Основными видами эластомерно-тканевых изделий, в которых в больших объемах используются ЭТМ, являются конвейерные ленты, приводные ремни, рукавные и мягкие оболочечные изделия, защитная одежда.

Эластомерно-тканевые материалы широко используются в авиации – из них изготавливают уплотнительные детали и изделия авиационной техники для топливных, масляных и воздушных систем. Широкое применение нашли МОК в надувных спасательных средствах различного назначения, таких как баллонеты, авиационные надувные спасательные плоты, аварийные надувные спасательные трапы, пневматические посадочные устройства.

Особым видом ЭТМ для авиации являются мягкие топливные баки, которые применяют для транспортирования в полостях крыльев расходуемого горючего в самолетах и вертолетах дальнего радиуса действия. Они состоят из силового слоя, представляющего собой прорезиненную полиамидную ткань, и топливостойкого слоя, изготавливаемого из

маслобензостойкой резины на основе бутадиен-нитрильных каучуков. Их изготавливают из тонколистовых заготовок каландрованных резин и прорезиненных тканей на наборных алюминиевых формах, а вулканизируют в автоклавах или котлах.

Эксплуатационные характеристики эластомерно-тканевых материалов

На соответствие технических характеристик ПКМ тем или иным требованиям в большей или меньшей степени влияют свойства каждого компонента. Прочность и герметичность материала, а также его структурные и технологические свойства зависят от физико-механических и технологических показателей тканей, нитей, волокон, эластомерных покрытий и адгезионных подслоев. Функциональные свойства ЭТМ зависят также от условий эксплуатации. Степень влияния составных частей на свойства ЭТМ можно оценить по табл. 1.

Таблица 1

Влияние компонентов полимерного композиционного материала (ПКМ) на свойства эластомерно-тканевого материала

Свойства ткани с эластомерным покрытием	Влияние компонента ПКМ		
	Ткань	Эластомер	Адгезионный подслоя
Прочность при растяжении	+	–	–
Сопротивление раздиру	+	+	+
Удлинение при разрыве	+	+	–
Герметичность		+	+
Поверхностная плотность (минимальная масса)	+	+	+
Термостойкость	+	+	–
Морозостойкость		+	–
Стойкость к многократному изгибу	+	+	–
Прочность связи (адгезия)	+	+	+
Стойкость к атмосферному старению	+	+	–
Жесткость	+	+	–

Примечание. «+» – влияет, «–» – не влияет.

Прочность при растяжении ЭТМ зависит от прочности тканевого слоя. Эластомерное покрытие может увеличивать прочность материала благодаря повышению связанности нитей, соответственно, увеличивается количество одновременно разрываемых нитей. Необходимую прочность материала выбирают по результатам расчета конструкции и коэффициента запаса прочности с учетом критерия прочности полимерных материалов [28–31].

Раздир зависит от любого фактора, приводящего к изменению числа одновременно разрываемых нитей, – прочности нитей, типа их переплетения, эластичности покрытия, глубины проникновения эластомера в ткань, прочности связи эластомера с тканевой основой. Для многих видов МОК сопротивление раздиру является критическим показателем для надежного функционирования, поэтому она должна быть максимально высокой.

Удлинение при разрыве определяет изменение геометрических размеров конструкции в результате совместного воздействия внешних сил и деформации конструкции под нагрузкой. С одной стороны, это значение должно быть минимальным, особенно в конструкциях, работоспособность которых зависит от точности геометрических размеров (например, в радиотехнических антеннах). С другой стороны, низко модульные материалы с высоким удлинением более стойки к динамическим нагрузкам и имеют лучшую технологичность при сборке сложных оболочек двойной кривизны с малым радиусом.

Герметичность материала определяется свойствами эластомера: газонепроницаемостью, свойствами наполнителей, вулканизирующими системами и толщиной покрытия. Текстильную ткань при этом можно рассматривать как пористый (проницаемый)

наполнитель эластомера: чем плотнее ткань (большее число нитей на единицу площади), тем она более плоская и менее пористая, а значит, тем больше герметичность материала. Герметичность также зависит от прочности связи, так как снижается количество дефектов материала, через которые возможна не только диффузионная, но и фазовая проницаемость. Улучшения герметичности материала можно добиться путем дублирования слоев, введения эластомеров с высокой газонепроницаемостью (бутилкаучука, полиуретана), добавления слоистых наполнителей (слюды) или при использовании барьерных пленок.

Поверхностная плотность существенно связана с прочностными показателями и газонепроницаемостью ЭТМ. Минимальная поверхностная плотность при достаточной герметичности зависит от характера рельефа ткани (толщины эластомерного слоя) и плотности резины. Чем тоньше ткань, тем меньше ее рельефность и тем более тонкий слой эластомера требуется для обеспечения необходимых эксплуатационных характеристик, а значит, тем совершеннее материал.

Температурный интервал работоспособности ЭТМ (тепло- и морозостойкость) в равной степени зависит от температурных характеристик эластомерного покрытия и ткани, однако у эластомера более низкая теплопроводность, что дополнительно обеспечивает защитные свойства. Следует учитывать, что у волокон и тканей значительно ниже температура максимальной скорости кристаллизации, ответственная за морозостойкость.

Стойкость к многократному изгибу ЭТМ зависит от эластичности покрытия, которое защищает даже нестойкие к изгибу ткани за счет исключения образования острых складок. Эластомерно-тканевые материалы из арамидных и стеклянных волокон более устойчивы к воздействию деформации изгиба, чем ткани без эластомерного покрытия. Нанесение резинового слоя на стеклоткань увеличивает ее сопротивление изгибу приблизительно на порядок.

Прочность связи (адгезия) зависит от природы армирующих тканей. При переходе от хлопчатобумажной ткани к синтетическим материалам – особенно на основе полиэфирных и арамидных волокон – необходимо введение в прорезиненные ткани промоторов адгезии. При активации резины промоторами адгезии для повышения прочности связи «резина–ткань» учитывается тип эластомера, тип и содержание наполнителей, природа волокна, наличие поверхностной модификации и адгезионной обработки ткани. Прочность связи также зависит от режима вулканизации ЭТМ. Следует обеспечить необходимое удельное давление на пресс-форму, а температуру и продолжительность вулканизации выбирать с таким расчетом, чтобы исключить перевулканизацию многослойного изделия.

Стойкость к атмосферному старению ЭТМ определяется свойствами эластомерной составляющей, при этом потеря прочности ткани при старении зависит от атмосферно- и озоностойкости.

Жесткость ЭТМ зависит от типа ткани – структуры переплетения, массы, особенностей пропитки, эластических свойств резины.

Компоненты, используемые для эластомерно-тканевых материалов

Ткани. Свойства армирующего текстильного материала в конечном счете определяют работоспособность ЭТМ [32].

На начальном этапе развития ЭТМ использовали ткани из натуральных волокон: хлопка, льна, шелка. Хлопчатобумажные ткани применяются в производстве ЭТМ и до настоящего времени. Их главными недостатками являются недостаточно высокая прочность, низкая стойкость к воздействию микроорганизмов и пониженная атмосферостойкость. К преимуществам хлопчатобумажных тканей относится развитая и ворсистая поверхность, что увеличивает площадь их контакта с резиной, обеспечивая высокую прочность связи с эластомерной матрицей.

В середине XX в. массовое производство сначала искусственных, а затем и синтетических тканей позволило решить многие проблемы с прочностью и надежностью

конструкций из ЭТМ. Хорошо зарекомендовали себя в производстве ЭТМ стеклянные, поливинилхлоридные, поливинилспиртовые и полиолефиновые ткани, а также успешно прошли испытания ЭТМ, армированных тканями на основе кварцевых, угольных, акрилонитрильных, оксидиазольных волокон.

В середине 1960-х гг. фирма «Дюпон» (США) начала серийное производство высокопрочного волокна из ароматических полиамидов (арамидов) под названием Кевлар. В настоящее время волокна этого типа выпускаются в значительных объемах в США, Германии, России, Японии и других странах.

До настоящего времени в отечественной промышленности резинотехнических изделий при производстве ЭТМ структура тканевой составляющей существенно отличается от среднемирового уровня по типу применяемого волокна, так как велика доля хлопчатобумажных (>30 %) и полиамидных (>60 %) волокон. Наоборот, полиэфирные ткани используются в недостаточном количестве, несмотря на их высокие деформационные характеристики и атмосферостойкость. Это связано с низкой адгезией полиэфирных волокон к эластомерам и необходимостью использования при нанесении покрытия пропиточных или промазочных составов с применением токсичных компонентов.

Тип переплетения в текстильных материалах также отличается разнообразием. Чаще всего используют ткани полотняного переплетения с равной прочностью по основе и утку. Для создания материалов с низкой газопроницаемостью применяют нити с узкой круткой. Для повышения прочности тканей на раздир используют переплетение «рогожка» или сетчатое плетение, а также часто применяют саржевое и трикотажное переплетение.

Особый интерес представляет новый вид технических тканей, используемых в производстве оболочек, – материал типа DWF (Double Wall Fabrics). Такие ткани применяются преимущественно для производства днищ надувных моторных лодок и аварийных пневматических подъемников для самолетов.

Эластомеры (резины). Для изготовления тканей с эластомерным покрытием применяют резины на основе натурального или синтетических каучуков: бутадиеновых, изопреновых, бутадиен-стирольных, этиленпропиленовых, акрилатных, бутадиеннитрильных, хлоропреновых, эпихлоргидриновых, бутилкаучука, хлорсульфированного полиэтилена, силоксановых каучуков. Выбор типа резины определяется необходимым комплексом свойств с учетом каждого конкретного применения ЭТМ.

В настоящее время наиболее распространенным эластомером для производства ЭТМ является пластифицированный ПВХ, который может плавиться при нагревании и свариваться, что позволяет снизить стоимость изделия за счет уменьшения времени сборки пакета и общих трудозатрат.

Основными недостатками ЭТМ с покрытием из ПВХ являются высокая газопроницаемость и низкая морозостойкость (до -30°C). Это удается устранить путем применения невыпотевающих пластификаторов на основе модифицированных полиолефинов.

Другим эластомером, широко применяемым для производства ЭТМ, стал термопластичный полиуретан, который обеспечивает высокую морозостойкость (до -50°C), низкую жесткость, высокую газонепроницаемость, прочность и стойкость к истиранию. Относительно низкая гидролитическая стабильность регулируется типом полиэфира (простого или сложного) в структуре полиуретана. Хорошими эксплуатационными характеристиками обладают материалы с эластомерным покрытием из термопластичных полиолефинов.

Для обеспечения повышенной стойкости к воздействию солнечного излучения, озона, воздуха и атмосферных факторов, а значит, и длительной работоспособности применяют эластомеры на основе фторсодержащих полимеров: политетрафторэтилена и поливинилиденфторида. Эти материалы имеют самые высокие показатели по длительной стойкости к воздействию окружающей среды. В настоящее время фторэластомеры из-за их высокой стоимости и технологических проблем при переработке в изделия ограниченно применяются для изготовления ЭТМ.

Адгезионный подслои. Повышение прочности связи между элементами конструкции материала с эластомерным покрытием достигается двумя способами: обработкой тканей различными составами (пропиточными, клеевыми) и введением в эластомер специальных модифицирующих добавок. В некоторых случаях эффект достигается применением обоих способов.

Для хлопчатобумажных тканей, в которых высокая прочность связи достигается путем механического соприкосновения ворсистой ткани с эластомером, обычно достаточно последовательного нанесения на клеепромазочной машине слоев клея различной концентрации и вязкости. Для повышения прочности связи материалов из синтетических нитей с резиной используют пропитку составами на основе резорцинформальдегидных латексов. В этих пропиточных составах активные добавки реакционноспособны как к эластомеру, так и к ткани. Латексная пропитка, как правило, увеличивает жесткость материала.

Полиэфирную ткань пропитывают в два этапа. На первом этапе ее погружают в клей из блокированного изоцианата с добавлением эпоксидной смолы. Блокированный изоцианат затем активируют при повышенных температурах. На втором этапе обработанную ткань вторично погружают в резорцинформальдегидный пропиточный состав. Арамид, который близок по свойствам к полиамиду, не образует достаточную адгезию со стандартным пропиточным составом, поэтому пропитку таких тканей обычно проводят в эпоксидной смоле по реакции эпихлоргидрина с глицерином, а затем проводят второй этап пропитки в стандартной смеси.

В случае стеклоткани хорошая адгезия обеспечивается предварительной обработкой волокон повышающими адгезию веществами (например, производными силана) с последующей пропиткой резорцинформальдегидной смолой.

Адгезионную пропитку обычно проводят на специальных пропиточных линиях. На линии чаще всего совмещают процессы пропитки, сушки и термомеханической обработки. При этом улучшаются деформационные характеристики материала с точки зрения равномерности вытяжки и снижения удлинений при рабочих натяжениях. Термообработку проводят в две стадии: на первой осуществляется сушка и термовытяжка, на второй – термофиксация. Температуру в зоне термообработки регулируют в пределах 170–220 °С в зависимости от типа и строения волокнообразующего полимера. Увеличение массы за счет пропиточного состава составляет 3,5–10 %.

Производство эластомерно-тканевых материалов

Нанесение как термопластичного, так и эластомерного покрытия (нанесение слоя полимера, удаление растворителя, дублирование) осуществляется на клеепромазочных (шпреди́нг) машинах. Особенно важен выбор конструкции узла нанесения покрытия. Применяются простые и сдвоенные шпреди́нг-установки, комбинация шпреди́нг-машины с установкой нанесения покрытия расплавляющим роликом и вертикальные шпреди́нг-машины.

Наиболее распространенным в резиновой промышленности является способ шпреди́нгования (клеепромазки) на шпреди́нг-машинах. Основными частями шпреди́нг-машины являются рабочий вал, нож и паровая плита. При этом клеепромазку тканей осуществляют путем нанесения раствора резины (клея) за несколько проходов (штрихов), как правило, специальным тонким ножом (ножевой раклей) над обрезиненным валом. После этого растворитель удаляется из нанесенного слоя при прохождении материала над нагреваемой паром плитой или на барабане (как при ламинировании). Этот способ позволяет получать ЭТМ малой толщины, но трудоемкость их изготовления в несколько раз выше, чем при каландровом методе прорезинивания.

Метод каландрования (фрикционная обкладка) отличается от шпреди́нгования тем, что на ткань наносится мягкая резиновая смесь во время прохождения между валками каландра. Валки, вращаясь с разной частотой, втирают резиновую смесь в переплетение ткани. После клеепромазки на шпреди́нг-машине или фрикционирования возможно нанесение тонкого резинового слоя на каландре методом обкладки. Каландроваться могут ткани с

поверхностной плотностью $>110 \text{ г/м}^2$. При этом резиновая смесь должна содержать $>20 \%$ каучука, а ее поверхностная плотность должна быть не менее $225\text{--}280 \text{ г/м}^2$. Для облегчения каландрования в резиновую смесь вводят минеральные наполнители.

Для вулканизации ЭТМ используют автоклавы, вулканизационные котлы, вулканизаторы тоннельного или барабанного типа, аппараты конвективного типа с активным гидродинамическим режимом, ускорители электронов, вулканизационные прессы и другие типы агрегатов, обогреваемых электроэнергией, паром, горячим воздухом, ИК-излучением или токами высокой частоты. В последнее время в практику формования ЭТМ внедряются подходы, используемые при формовании волокнодержущих ПКМ. Это особенно важно при формовании толстостенных изделий и многослойных ЭТМ [33–40].

Методы испытаний эластомерно-тканевых материалов

Лабораторные методы определения характеристик ЭТМ установлены национальными стандартами промышленно развитых стран и стандартами ИСО (ISO) [41]. Некоторые принятые в России стандарты, разработанные для тканей с эластомерным покрытием, отличаются от международных стандартов по методикам испытаний. Основные контролируемые показатели ЭТМ с указанием стандартов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Основные методы испытаний эластомерно-тканевых материалов

Показатель	Стандарты по методам испытаний	
	русским	международным
Разрывная нагрузка, Н/5 см	ГОСТ 16010–70, ГОСТ 17316–71	ISO 1421, DIN 53354
Относительное удлинение при разрыве, %	ГОСТ 16010–70, ГОСТ 17316–71	ISO 1421, DIN 53354
Прочность на раздир при надрезе, Н	ГОСТ 16010–70	ISO 4674, DIN 53363
Прочность связи покрытия с тканью, Н/5 см	ГОСТ 6768–75	ISO 2411, DIN 53357
Поверхностная плотность, г/м^2	ГОСТ 3811–72	–
Температурный интервал работоспособности, °С	ГОСТ 15162–82	ISO 6185, DIN 53361
Огнестойкость (класс)	ГОСТ 25076–81	ISO 3795, NFP 92-503, DIN 75200
Воздухопроницаемость (отсутствие пузырей)	Отраслевая методика М 38 Заг-405221-87	–
Газопроницаемость, л/м^2 , по H_2 и He за 24 ч	–	NFG 37114, DIN 6065
Сопротивление растрескиванию при изгибе, циклы	ГОСТ 28791–90	ISO 7654-84, DIN 53359A
Проницаемость по топливу (класс)	–	ISO 6179, L SEA T06
Светостойкость (класс)	ГОСТ 9780–78	ISO 105 B02
Стойкость к истиранию, циклы	–	ISO 5470, ASTM D-3884-92
Толщина, мм	–	ISO 2286-3
Озоностойкость (класс)	–	ISO 3011
Прочность на прорыв, г	ГОСТ 2787–90	ISO 3303-90
Жесткость, сН	ГОСТ 8977–74	
Набухание в воде, %	–	ASTM D-751A
Морозостойкость, °С	–	ASTM D-2136-84

Прогнозирование работоспособности резиноканевых материалов

Методики прогнозирования надежности и сохраняемости изделий из ЭТМ основаны на данных испытаний изделий с истекшим гарантийным сроком, а также образцов материалов, закладываемых на хранение и периодически испытываемых в процессе срока эксплуатации. После оценки реальной продолжительности срока эксплуатации ЭТМ определяют характер изменения ключевых показателей материала, прежде всего прочности, деформативности, растрескивания поверхностного слоя, герметичности и др. После этого

рассчитывают предельные параметры возникновения отказов в работе. Вероятность безотказной работы определяется из допущения, что в процессе хранения и эксплуатации ЭТМ показатели их качества монотонно изменяются по кривой, подчиняющейся законам Аррениуса и Велера.

Заключение

Описанные в данной статье закономерности разработки рецептуры, технологии изготовления, методов испытаний, а также основные технологические и эксплуатационные характеристики эластомерно-тканевых материалов и их составные части позволяют направленно применять ЭТМ в сложнагруженных изделиях специального назначения. Это позволит расширить области использования ЭТМ и увеличить ресурс работы изделий. Например, расширяются области применения модифицированных ЭТМ в спортивной индустрии [42].

Список источников

1. Каблов Е.Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» // *Авиационные материалы и технологии*. 2015. № 1 (34). С. 3–33. DOI: 2071-9140-2015-0-1-3-33.
2. Каблов Е.Н. Роль химии в создании материалов нового поколения для сложных технических систем // *XX Менделеевский съезд по общей и прикладной химии: тез. докл. в 5 т.* Екатеринбург: УрО РАН, 2016. С. 25–26.
3. Каблов Е.Н. Шестой технологический уклад // *Наука и жизнь*. 2010. № 4. С. 2–7.
4. История авиационного материаловедения. ВИАМ – 80 лет: годы и люди / под общ. ред. Е.Н. Каблова. М.: ВИАМ, 2012. С. 346–348.
5. Каблов Е.Н. Авиакосмическое материаловедение // *Все материалы*. Энциклопедический справочник. 2008. № 3. С. 2–14.
6. Большой справочник резинщика / под ред. С.В. Резниченко, Ю.Л. Морозова. М.: Техинформ, 2012. Ч. 2: Резины и резинотехнические изделия. 648 с.
7. Технология резины: Рецептуростроение и испытания: пер. с англ. / под ред. Дж.С. Дика. СПб.: Научные основы и технологии, 2010. 620 с.
8. Федюкин Д.П., Махлис Ф.А. Технические и технологические свойства резин. М.: Химия, 1985. 240 с.
9. Махлис Ф.А., Федюкин Д.П. Терминологический справочник по резине. М.: Химия, 1989. 400 с.
10. Корнев А.Е., Буканов А.М., Шевурдяев О.Н. Технология эластомерных материалов. М.: НППА «Истек», 2009. 502 с.
11. Агаянц И.М. Пять столетий каучука и резины. М.: Модерн-А, 2002. 432 с.
12. Кошелев Ф.Ф., Корнев А.Е., Буканов А.М. Общая технология резины. 4-е изд. М.: Химия, 1978. 528 с.
13. Осошник И.А., Шутилин Ю.Ф., Карманова О.В. Производство резиновых технических изделий / под общ. ред. Ю.Ф. Шутилина. Воронеж: Воронеж. гос. технол. акад., 2007. 972 с.
14. Гришин Б.С. Материалы резиновой промышленности (информационно-аналитическая база данных). Казань: Изд-во КГТУ, 2010. Т. 2. 488 с.
15. Каучук и резина. Наука и технология / под ред. Дж. Марка, Б. Эрмана, Ф. Эйрича; пер. с англ. под ред. А.А. Берлина, Ю.Л. Морозова. Долгопрудный: Интеллект, 2011. 768 с.
16. Нудельман З.Н. Фторкаучуки: основы, переработка, применение. М.: РИАС, 2007. 383 с.
17. Гриневиц Д.Н., Яковлев Н.О., Славин А.В. Критерии разрушения полимерных композиционных материалов (обзор) // *Труды ВИАМ*. 2019. № 7 (79). Ст. 11. URL: <http://viam-works.ru> (дата обращения: 01.12.2022). DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-7-92-111.
18. Гольденблат И.И., Копнов В.А. Критерий прочности анизотропных материалов // *Механика*. 1965. № 6. С. 77–83.
19. Гольденблат И.И., Копнов В.А. Критерий прочности и пластичности конструкционных материалов. М.: Машиностроение, 1968. 192 с.
20. Маковенко С.Я. О взаимности компонент тензоров прочности некоторых теорий прочности анизотропных материалов // *Строительная механика инженерных конструкций и сооружений*. 2005. № 1. С. 65–70.

21. О звукоизоляционных свойствах звукопоглощающих материалов, используемых в многослойных ограждающих конструкциях // Научное обозрение. 2017. № 12. С. 68–72.
22. Липатов Ю.С. Физико-химические основы наполнения полимеров. М.: Химия, 1991. 260 с.
23. Михайлин Ю.А. Конструкционные полимерные композиционные материалы. 2-е изд. СПб.: Научный основы и технологии, 2016. 820 с.
24. Барботько С.Л. Пожаробезопасность авиационных материалов авиационного назначения и конструктивных элементов на их основе: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. М.: ВИАМ, 2019. 47 с.
25. Раскутин А.Е. Российские полимерные композиционные материалы нового поколения, их освоение и внедрение в перспективных разрабатываемых конструкциях // Авиационные материалы и технологии. 2017. № S. С. 349–367. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-349-367.
26. Барботько С.Л., Вольный О.С., Вешкин Е.А., Гончаров В.А. Оценка огнестойкости материалов и конструктивных элементов для авиационной техники // Авиационная промышленность. 2018. № 2. С. 63–67.
27. Барботько С.Л., Вольный О.С., Кириенко О.А., Шуркова Е.Н. Оценка пожаробезопасности полимерных материалов авиационного назначения: анализ состояния, методы испытаний, перспективы развития, методические особенности / под общ. ред. Е.Н. Каблова. М.: ВИАМ, 2018. 424 с.
28. Справочник по композиционным материалам: в 2 кн. М.: Машиностроение, 1988. Кн. 2. 448 с.
29. Ерасов В.С., Орешко Е.И. Коэффициент Пуассона и пуассонова сила // Авиационные материалы и технологии. 2018. № 4 (53). С. 79–86. DOI: 10.18577/2071-9140-2018-0-4-79-86.
30. Ерасов В.С., Орешко Е.И. Причины зависимости механических характеристик трещиностойкости материала от размеров образца // Авиационные материалы и технологии. 2018. № 3 (52). С. 56–64. DOI: 10.18577/2071-9140-2018-0-3-56-64.
31. Орешко Е.И., Ерасов В.С., Ястребов А.С. Прогнозирование прочностных и деформационных характеристик материалов при испытаниях на растяжение и ползучесть // Материаловедение. 2019. № 1. С. 3–9.
32. Попов Л.Н., Керимов С.Г. Текстильные материалы технического назначения: справочник-каталог. Ярославль, 2006. 492 с.
33. Колпачков Е.Д., Петрова А.П., Курносоев А.О., Соколов И.И. Методы формования изделий авиационного значения из ПКМ (обзор) // Труды ВИАМ. 2019. № 11 (83). Ст. 03. URL: <http://viam-works.ru> (дата обращения: 01.12.2022). DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-11-22-36.
34. Тимошков П.Н., Хрульков А.В., Усачева М.Н., Пурвин К.Э. Технологические особенности изготовления толстостенных деталей из ПКМ (обзор) // Труды ВИАМ. 2019. № 3 (75). Ст. 07. URL: <http://viam-works.ru> (дата обращения: 01.12.2022). DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-3-61-67.
35. Каллистер У., Ристич Д. Материаловедение: от технологии к применению (металлы, керамика, полимеры). СПб.: Научные основы и технологии, 2011. 896 с.
36. Власов С.В., Кандырин Л.Б., Кулезнев В.Н. и др. Основы технологии переработки пластмасс. М.: Химия, 2004. 600 с.
37. Rudd C.D., Long A.C., Kendall K.N., Mangin C.G.E. Liquid Moulding Technologies. Wood head Publishing and SAE International, 1997. P. 42–57.
38. Крыжановский В.К., Кербер М.Л., Бурлов В.В. Производство изделий из полимерных материалов. СПб.: Профессия, 2004. 464 с.
39. Дмитриев А.О. Проблемы разработки технологии и организации производства толстостенных изделий из полимерных композитов // Развитие современной науки: теоретические и прикладные аспекты. 2016. № 7. С. 8–10.
40. Тюков Н.И., Даутов А.И., Закурдаева Е.А. Математическая модель управления процессом разогрева автоклава при производстве изделий из композиционных материалов // Вестник УГАТУ. 2008. Т. 10. № 2 (27). С. 159–163.
41. Шершак П.В. Особенности национальной стандартизации методов испытаний полимерных композиционных материалов // Труды ВИАМ. 2019. № 2 (74). Ст. 08. URL: <http://viam-works.ru> (дата обращения: 01.12.2022). DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-2-77-88.
42. Клименко О.Н., Валуева М.И., Рыбникова А.Н. Полимерные и полимерные композиционные материалы в спорте (обзор) // Труды ВИАМ. 2020. № 10 (92). Ст. 09. URL: <http://viam-works.ru> (дата обращения: 01.12.2022). DOI: 10.18577/2307-6046-2020-0-10-81-89.

References

1. Kablov E.N. Innovative developments of FSUE «VIAM» SSC of RF on realization of «Strategic directions of the development of materials and technologies of their processing for the period until 2030». *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2015, no. 1 (34), pp. 3–33. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33.
2. Kablov E.N. The role of chemistry in the creation of new generation materials for complex technical systems. *XX Mendeleev Congress on General and Applied Chemistry*: in 5 vols. Ekaterinburg: Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2016, pp. 25–26.
3. Kablov E.N. The sixth technological order. *Nauka i zhizn*, 2010, no. 4, pp. 2–7.
4. History of aviation materials science. VIAM – 80 years: years and people. Ed. E.N. Kablov. Moscow: VIAM, 2012, pp. 346–348.
5. Kablov E.N. Aerospace materials science. *Vse materialy. Entsiklopedicheskiy spravochnik*, 2008, no. 3, pp. 2–14.
6. *Big rubber band guide*. Ed. S.V. Reznichenko, Yu.L. Morozov. Moscow: Tekhinform, 2012, part 2: Rubbers and rubber products, 648 p.
7. *Technology of rubber: Formulation and testing*: trans. from Engl. Ed. J.S. Dick. St. Petersburg: Nauchnye osnovy i tekhnologii, 2010, 620 p.
8. Fedyukin D.P., Makhlis F.A. *Technical and technological properties of rubbers*. Moscow: Chemistry, 1985, 240 p.
9. Makhlis F.A., Fedyukin D.L. *Terminological guide to rubber*. Moscow: Khimiya, 1989, 400 p.
10. Kornev A.E., Bukanov A.M., Sheverdyayev O.N. *Technology of elastomeric materials*. Moscow: NPPA "Istek", 2009, 502 p.
11. Agayants I.M. *Five centuries of rubber and rubber*. Moscow: Modern-A, 2002, 432 p.
12. Koshelev F.F., Kornev A.E., Bukanov A.M. *General rubber technology*. 4th ed. Moscow: Khimiya, 1978, 528 p.
13. Ososhnik I.A., Shutilin Yu.F., Karmanova O.V. *Manufacture of rubber technical products*. Ed. Yu.F. Shutilina. Voronezh: Voronezh State Technol. Acad., 2007, 972 p.
14. Grishin B.S. *Materials of the rubber industry (information-analytical database)*. Kazan: KSTU, 2010, vol. 2, 488 p.
15. Rubber and rubber. Science and technology. Ed. J. Mark, B. Erman, F. Eyrich; trans. from Engl. Ed. A.A. Berlin, Yu.L. Morozov. *Dolgoprudny: Intelligence*, 2011, 768 p.
16. Nudelman Z.N. Fluororubbers: basics, processing, application. Moscow: RIAS, 2007, 383 p.
17. Grinevich D.V., Yakovlev N.O., Slavin A.V. The criteria of the failure of polymer matrix composites (review). *Trudy VIAM*, 2019, no. 7 (79), paper no. 11. Available at: <http://viam-works.ru> (accessed: December 01, 2022). DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-7-92-111.
18. Goldenblat I.I., Kopnov V.A. Strength criterion for anisotropic materials. *Mekhanika*, 1965, no. 6, pp. 77–83.
19. Goldenblat I.I., Kopnov V.A. *Criterion of strength and plasticity of structural materials*. Moscow: Mashinostroenie, 1968, 192 p.
20. Makovenko S.Ya. On the reciprocity of the components of the strength tensors of some theories of the strength of anisotropic materials. *Stroitel'naya mekhanika inzhenernykh konstruksiy i sooruzheniy*, 2005, no. 1, pp. 65–70.
21. On the soundproofing properties of sound-absorbing materials used in multilayer building envelopes. *Nauchnoe obozrenie*, 2017, no. 12, pp. 68–72.
22. Lipatov Yu.S. *Physical and chemical bases of filling polymers*. Moscow: Khimiya, 1991, 260 p.
23. Mikhailin Yu.A. *Structural polymeric composite materials*. 2nd ed. St. Petersburg: Scientific foundations and technologies, 2016, 820 p.
24. Barbotko S.L. *Fire safety of aviation materials for aviation purposes and structural elements based on them*: thesis abstract, Dr. Sc. (Tech.). Moscow: VIAM, 2019, 47 p.
25. Raskutin A.E. Russian polymer composite materials of new generation, their exploitation and implementation in advanced developed constructions. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2017, no. S, pp. 349–367. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-349-367.
26. Barbotko S.L., Volnyj O.S., Veshkin E.A., Goncharov A.E. Estimation of fire resistance of material and structural elements for aviation equipment. *Aviatsionnaya promyshlennost*, 2018, no. 2, pp. 63–67.

27. Barbotko S.L., Volny O.S., Kirienko O.A., Shurkova E.N. *Evaluation of the fire safety of polymeric materials for aviation purposes: state analysis, test methods, development prospects, methodological features*. Ed. E.N. Kablov. Moscow: VIAM, 2018, 424 p.
28. Handbook of composite materials: in 2 books. Moscow: Mashinostroenie, 1988, book 2, 448 p.
29. Erasov V.S., Oreshko E.I. Poisson ratio and poisson force. *Aviacionnyye materialy i tehnologii*, 2018, no. 4 (53), pp. 79–86. DOI: 10.18577/2071-9140-2018-0-4-79-86.
30. Erasov V.S., Oreshko E.I. Reasons for dependence of mechanical characteristics of material fracture resistance on sample sizes. *Aviacionnyye materialy i tehnologii*, 2018, no. 3, pp. 56–64. DOI: 10.18577/2071-9140-2018-0-3-56-64.
31. Oreshko E.I., Erasov V.S., Yastrebov A.S. Prediction of strength and deformation characteristics of materials during tensile and creep tests. *Materialovedenie*, 2019, no. 1, pp. 3–9.
32. Popov L.N., Kerimov S.G. *Textile materials for technical purposes: directory-catalogue*. Yaroslavl, 2006, 492 p.
33. Kolpachkov E.D., Petrova A.P., Kurnosov A.O., Sokolov I.I. Methods of molding aviation products from PCM (review). *Trudy VIAM*, 2019, no. 11 (83), paper no. 03. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: December 01, 2022). DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-11-22-36.
34. Timoshkov P.N., Khrulkov A.V., Usacheva M.N., Purvin K.E. Technological features of the manufacture of thick-walled parts of the PCM (review). *Trudy VIAM*, 2019, no. 3 (75), paper no. 07. Available at: <http://viam-works.ru> (accessed: December 01, 2022). DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-3-61-67.
35. Callister U., Ristic D. *Materials science: from technology to application (metals, ceramics, polymers)*. St. Petersburg: Nauchnye osnovy i tekhnologii, 2011, 896 p.
36. Vlasov S.V., Kandyrin L.B., Kuleznev V.N. et al. *Fundamentals of plastics processing technology*. Moscow: Khimiya, 2004, 600 p.
37. Rudd C.D., Long A.C., Kendall K.N., Mangin C.G.E. *Liquid Moulding Technologies*. Wood head Publishing and SAE International, 1997, pp. 42–57.
38. Kryzhanovskiy V.K., Kerber M.L., Burlov V.V. *Manufacture of products from polymeric materials*. St. Petersburg: Profession, 2004, 464 p.
39. Dmitriev A.O. Problems of development of technology and organization of production of thick-walled products from polymer composites. *Razvitie sovremennoy nauki: teoreticheskiye i prikladnyye aspekty*, 2016, no. 7, pp. 8–10.
40. Tyukov N.I., Dautov A.I., Zakurdaeva E.A. Mathematical model for controlling the process of autoclave heating in the production of products from composite materials. *Vestnik UGATU*, 2008, vol. 10, no. 2 (27), pp. 159–163.
41. Shershak P.V. National standardization specifics of polymer composites materials tests methods. *Trudy VIAM*, 2019, no. 2 (74), paper no. 08. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: December 01, 2022). DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-2-77-88.
42. Klimenko O.N., Valueva M.I., Rybnikova A.N. Polymers and polymer composites in sport (review). *Trudy VIAM*, 2020, no. 10 (92), paper no. 09. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: December 01, 2022). DOI: 10.18577/2307-6046-2020-0-10-81-89.

Информация об авторах

Чайкун Александр Михайлович, заместитель начальника лаборатории по науке, к.т.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru
Сергеев Александр Владимирович, инженер 1 категории, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru
Правада Екатерина Сергеевна, техник 1 категории, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Information about the authors

Alexander M. Chaykun, Deputy Head of Laboratory of Science, Candidate of Sciences (Tech.), NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru
Alexander V. Sergeyev, First Category Engineer, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru
Ekaterina S. Pravada, First Category Technician, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Статья поступила в редакцию 26.12.2022; получена после доработки 17.03.2023; одобрена и принята к публикации после рецензирования 17.03.2023.
 The article was submitted 26.12.2022; received in revised form 17.03.2023; approved and accepted for publication after reviewing 17.03.2023.